
El Wardani, Maissam; Schierz, Christoph; Jordan, Werner; Binder, Ulrich; Steudtner, Walter

Rückgeführte Licht- und Strahlungsmesstechnik für gepulst betriebene LED-Systeme

URN: [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017200316](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017200316)

Original published in:

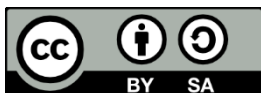
Licht 2016 : Karlsruhe, 25.-28. September : Tagungsband - Proceedings. - Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. - (2016), p. 465, 467-473.

Original published: 2016

ISBN: 978-3-7315-0564-8

Doi: [10.5445/KSP/1000057817](https://doi.org/10.5445/KSP/1000057817)

[Visited: 2017-06-02]



This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License (CC BY-SA 3.0 DE)
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>

Rückgeführte Licht- und Strahlungsmesstechnik für gepulst betriebene LED-Systeme / Traceable light and radiation measurement technology for pulse-powered LED systems

Maissam El Wardani¹⁾²⁾, Christoph Schierz¹⁾, Werner Jordan²⁾, Ulrich Binder²⁾, Walter Steudtner²⁾

¹⁾ TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

²⁾ OSRAM GmbH, CI ANM CLM, Berliner Allee 65, 86154 Augsburg

Zusammenfassung

LEDs ermöglichen – verglichen mit traditioneller Beleuchtungstechnik – sehr kurze Schaltzeiten (An/Aus) sowie die Modulation des Lichtsignals zur Unterstützung des notwendigen Thermomanagements von Hochleistungsmodulen. Der typischerweise dazu verwendete Pulsbetrieb stellt jedoch neue Anforderungen an die lichttechnisch angewendete Messtechnik.

Da die Rückführung, sowie die Unsicherheitsbetrachtung von lichttechnischen Größen in der Regel auf zeitlich konstanten gemittelten Messsignalen beruht, müssen die derzeit angewendeten Verfahren erneut validiert werden.

Das Ziel ist die Entwicklung einer geeigneten Methode, mit der Messungen von gepulsten Lichtsignalen auf lichttechnisch zeitlich-statische Kalibriernormale rückgeführt werden können. Die Betrachtungen zur Messunsicherheit dieses Messverfahrens erfordern damit auch eine systemtheoretische Beschreibung der Messkette.

Summary

LEDs allow - compared with traditional lighting technology - very short switching times and modulation of the light signal to influence the needed thermal management of high power modules. The typically used pulse operation forces new demands on the applied measurement technology.

As the uncertainty and the traceability of the result of the photometric quantities are usually based on temporally constant average measurement signals, then the currently applied procedures of measurement must be revalidated.

The aim of this work is the development of an appropriate method that can perform traceable measurements of pulsed light signals with temporally static calibration standards. The considerations on the uncertainty of this measurement method also require a system theoretical description of the measurement chain.

1 Einleitung

Leuchtdioden (LEDs) ermöglichen verglichen mit traditioneller Beleuchtungstechnik sehr kurze Schaltzeiten und eine Modulation des Lichtsignals, was neuartige Anwendungen ermöglicht und das erforderliche Thermomanagement unterstützt. Zeitlich veränderliche Messsignale stellen jedoch auch neue Anforderungen an die Messtechnik. LED-Chips oder LED-Module können zum einen durch kurze Strompulse elektrisch und optisch charakterisiert werden, oder, ähnlich wie traditionelle Lampen, im thermisch stabilen Betrieb gemessen werden.

Die Messung bei konstanter Quellen-Temperatur erfordert jedoch aufgrund der notwendigen Kühlung einen zusätzlichen apparativen Aufwand und oftmals lange Stabilisierungszeiten, ist aber insbesondere für goniometrische Messungen sowie hochauflösende spektrale Messungen die bevorzugte Variante. Im Gegensatz dazu können aber auch genügend kurze, einzelne Lichtpulse in Ulbricht-Kugeln mit integralen Detektoren oder schnellen (Kompakt – Array-) Spektrometern gemessen werden, ohne die thermische Belastung betrachten zu müssen.

Für lichttechnische Messlabore ist es entscheidend, dass diese unterschiedlichen Betriebsarten innerhalb ihrer Messunsicherheit vergleichbare Ergebnisse liefern. Da die Effizienz der Leuchtdiode maßgeblich von deren Junction-Temperatur bestimmt wird, müssen hierzu sowohl im Pulsbetrieb als auch im stabilisierten Betrieb vergleichbare thermische Bedingungen hergestellt werden. Da die Rückführung von Messgrößen der Lichttechnik auf Normale in der Regel auf stabilisierten Quellen und zeitlich konstanten Messsignalen beruht, müssen für zeitlich veränderliche Signale die vorhandenen Verfahren überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

In einem ersten Schritt wird deshalb ein LED-Referenzsystem definiert und dessen thermische Eigenschaften bestimmt. Zur Messung der lichttechnischen Größen werden für beide oben beschriebenen Betriebsmodi photometrische und radiometrische Vergleichsmessungen in Ulbricht-Kugeln verschiedener Größe und Einstrahlgeometrie sowie in Goniometern durchgeführt. Der Fokus liegt hierbei auf den für LED-Anwendungen typischen Ulbricht-Kugeln mit höchstens 0.5 m Durchmesser in 2π -Einstrahlgeometrie. In diesen „kleinen“ Ulbricht-Kugeln ist die Unsicherheit der Lichtstrommessung, bedingt durch den Störkörpereinfluss und den Einfluss der unterschiedlichen Lichtverteilungen vergleichsweise groß. Auf Basis von ersten orientierenden Messungen mit dieser Anlage werden empirische Abschätzungen zur erwarteten Messunsicherheit vorgestellt. Ein Vergleich des LED-Lichtstroms bezogen auf deren Duty Cycle (Tastgrad) zeigt die Möglichkeiten des experimentellen Aufbaus auf.

2 Versuchsaufbau und Methodik

Die Abb. 1 skizziert den dazu notwendigen Messaufbau. Der spektroradiometrische Anlagenteil besteht aus einer Ulbricht-Kugel mit einem Durchmesser von 0.25 m, versehen mit Öffnungen zur Einkopplung der LED - Strahlung sowie zur Auskopplung der indirekten Bestrahlungsstärke in die Eingangsoptik des Array-Spektroradiometersystems. Als Option kann ein Photometerkopf an Stelle der Hilfslichtlampe eingebracht und mit einem High-Speed Präzisions-Photometer (Flash-meter) verbunden werden, um so einzelne, gepulste Lichtsignale der LED, formrichtig integriert, zu detektieren und damit den direkten Bezug zu

der treibenden LED-Eingangsstromstärke herzustellen. Der zeitliche Verlauf der Systemsignale kann mit einem Oszilloskop aufgezeichnet und für die weiteren Analysen gespeichert werden. Als Quelle zum Betrieb der LEDs wird ein Rechteck-Pulsgenerator mit integriertem Digitalmultimeter bei einer Stromauflösung von 1 pA und mit einer Abtastzeit von 1 μ s verwendet.

Alle Anlagen-Komponenten werden per Software konfiguriert, gesteuert und ausgelesen.

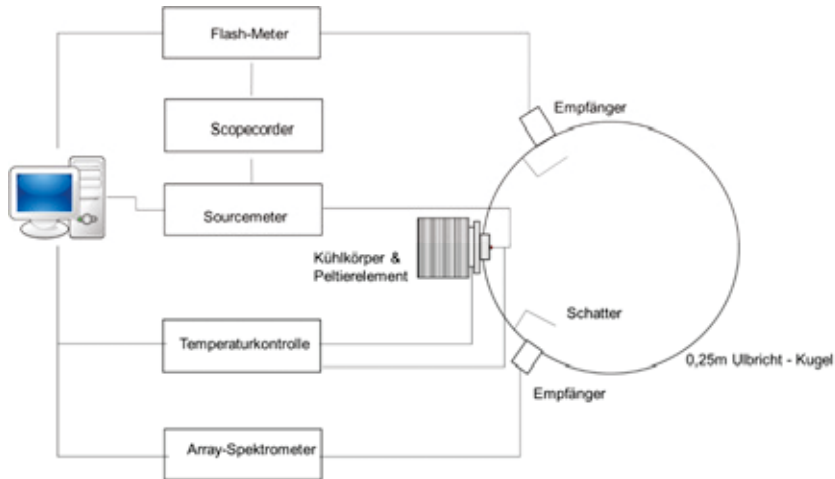


Abb. 1: Schematische Darstellung des LED – Messplatzes

Die wesentliche Voraussetzung für den messtechnischen Übergang von DC betriebenen LED-Quellen zu gepulsten Systemen ist der mechanische Aufbau eines geeigneten Halters zum temperaturgeregelten Betrieb und zur Adaptation der Quelle an das Messsystem Ulbrichtkugel. Folgende Anforderungen sind dabei zu erfüllen:

- Mechanische und optische Integration des LED-Moduls möglichst ideal in die Kugelwand.
- Ausreichende aktive Kühlkapazität des Halters zur Stabilisierung der Objekttemperatur auf 25 Grad Celsius bei Bestromung
- Ausreichende Stabilität der mechanischen Halterung zur reproduzierbaren Positionierung des Objekts
- Geeignete elektrische Kontaktierung zum Betrieb des Objekts und zur Überwachung der Objekttemperatur

Im aktuellen Entwicklungsstand der LED-Halterung wird das Messobjekt „LED mit Leiterplatte“ dazu auf einen Aluminium-Kupferkörper aufgebracht (Abb. 2), der mit Hilfe einer Peltier-Einheit (Element und Regelelektronik) bei einer vorgewählten Temperatur (z. B. 25 °C) konstant gehalten wird. Der Temperatursensor für die Regeleinheit befindet sich direkt unter der Leiterplatte (obere Adapterplatte) der LED.

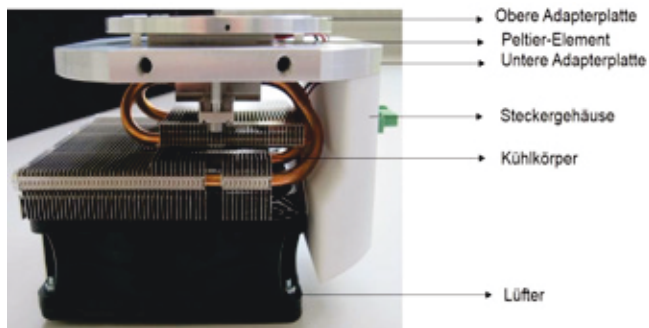


Abb. 2 Einheit zur mechanischen Halterung und aktiver Temperaturstabilisierung des LED Objekts

3 Ergebnisse

3.1 Überlegungen zur Messunsicherheit

Das Nachweissystem ist als Spektralradiometer mit räumlich integrierender Ulbrichtkugel konzipiert. Die interessierende Größe „Lichtstrom“ wird über den relativen spektralen Strahlungsfluss zusammen mit einem entsprechenden photometrischen Lichtstromnormal rückgeführt [1]. Weitere wirksame Unsicherheitsbeiträge sind in Abb. 3 aufgezeigt. Der weitaus größte Beitrag ist durch die notwendige, empirisch festgestellte Korrektur der Kugelantwort durch die Wirkung unterschiedlicher Lichtverteilungen motiviert. Hiermit zeigt sich auch der primäre Ansatzpunkt zur Verringerung der Messunsicherheit bei der Lichtstrombestimmung.

Messunsicherheits-Budgets:

ϕ : Gemessener Lichtstrom (relativ auf 1 gesetzt)

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	Unsicherheitsbeitrag	Index
ϕ_{normal}	1.0000 rel	0.0110 rel	Normal	1.0	0.011 1	4.8 %
δ_{LED}	0.0 rel	$2.89 \cdot 10^{-3}$ rel	Rechteck	1.0	$2.9 \cdot 10^{-3}$ 1	0.3 %
δ_{vonTLED}	0.0 rel	0.0115 rel	Rechteck	1.0	0.012 1	5.2 %
δ_{HLLcorr}	0.0 rel	$8.66 \cdot 10^{-3}$ rel	Rechteck	1.0	$8.7 \cdot 10^{-3}$ 1	2.9 %
δ_{Corrcorr}	0.0 rel	0.0462 rel	Rechteck	1.0	0.046 1	83.8 %
$\delta_{\text{RADsignal}}$	0.0 rel	$577 \cdot 10^{-6}$ rel	Rechteck	1.0	$580 \cdot 10^{-6}$ 1	0.0 %
$\delta_{\text{LEDnominal}}$	0.0 rel	$8.66 \cdot 10^{-3}$ rel	Rechteck	1.0	$8.7 \cdot 10^{-3}$ 1	2.9 %
ϕ	1.0000 1	0.0505 1				

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiterungsfaktor	Überdeckungswahrscheinlichkeit
ϕ	1.00	10 % (relativ)	2.00	95% (Normal)

Abb. 3 Messunsicherheitsbilanz zur Lichtstrombestimmung – Einfluss der empirischen Korrektur der Kugelantwort

Ist man in der Lage diesen Korrekturfaktor (systematische Korrektur mit beigeordneter Messunsicherheit) z. B. praktisch durch eine zusätzliche Goniophotometermessung zu ermitteln, so kann durch diese erweiterte Kenntnis die Messunsicherheit in einem ersten Schritt deutlich verringert werden (siehe Abb. 4).

Tab. 1: Lichttechnischer Vergleich der identisch betriebenen LED-Lichtquelle

LED Duris P10	Lichtstrom Φ in Lumen	x	y	CCT in K
LED-Messplatz mit 0,25 m Ulbrichtkugel	1206 \pm 121	0,3836 \pm 0,0035	0,3879 \pm 0,0035	3996 \pm 110
Referenzanlage 3m Ulbrichtkugel	1164 \pm 27	0,3854 \pm 0,0035	0,3886 \pm 0,0035	3955 \pm 110

Messunsicherheits-Budgets:

ϕ : Gemessener Lichtstrom (relativ auf 1 gesetzt)

Größe	Wert	Std.-Mess- unsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts- koeffizient	Unsicher- heitsbeitrag	Index
ϕ_{normal}	1.0000 rel	0.0110 rel	Normal	1.0	0.011 1	19.5 %
δ_{LED}	0.0 rel	2.89·10 ⁻³ rel	Rechteck	1.0	2.9·10 ⁻³ 1	1.3 %
δ_{vonTLED}	0.0 rel	0.0115 rel	Rechteck	1.0	0.012 1	21.5 %
δ_{HLLcorr}	0.0 rel	8.66·10 ⁻³ rel	Rechteck	1.0	8.7·10 ⁻³ 1	12.1 %
δ_{Corrcorr}	0.0 rel	0.0144 rel	Rechteck	1.0	0.014 1	33.5 %
$\delta_{\text{RADsignal}}$	0.0 rel	577·10 ⁻⁶ rel	Rechteck	1.0	580·10 ⁻⁶ 1	0.0 %
$\delta_{\text{LEDnominal}}$	0.0 rel	8.66·10 ⁻³ rel	Rechteck	1.0	8.7·10 ⁻³ 1	12.1 %
ϕ	1.0000 1	0.0249 1				

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess- unsicherheit	Erweiter- ungsfaktor	Überdeckungs- wahrscheinlichkeit
ϕ	1.000	5.0 % (relativ)	2.00	95% (Normal)

Abb. 4 Messunsicherheitsbilanz zur Lichtstrombestimmung – deutliche Verringerung durch Kenntnis des Korrekturfaktors zur Kugelantwort

Weitere Maßnahmen zur Verringerung der Messunsicherheit werden sich in den nächsten Schritten auf die Einflussparameter „Temperaturabhängigkeit des LED-Lichtstroms ($\phi_{\text{von TLED}}$)“ und die Bestimmung und Anwendung der „LED-Stromstärke (i_{LED}) und ($i_{\text{LEDnominal}}$)“ sowie auf die Hilfslichtlampenkorrektur (HLLcorr) konzentrieren.

Tabelle 1 zeigt den lichttechnischen Vergleich der identisch betriebenen LED-Lichtquelle. Der auftretende systematische Unterschied bei der Lichtstrombestimmung kann hier durch einen Korrekturfaktor (0,965 \pm 0,021) für die Kugelantwort der 0,25 m Ulbrichtkugel berücksichtigt werden.

3.2 Zeitlich aufgelöste Messmöglichkeiten

An der Leuchtstoff-konvertierten, weißen LED DURIS P10 wurden orientierende Messungen bei unterschiedlichen Duty Cycles durchgeführt. Abbildung 5 zeigt die Bildschirmdarstellung für einen Duty Cycle von 40% (LED 10ms ON, 15 ms OFF). Die LED-Stromstärke folgt sehr gut einem Rechteckpuls, während der Lichtstrom nach dem Ausschalten der Stromstärke zeitlich abklingt („nachleuchtet“).

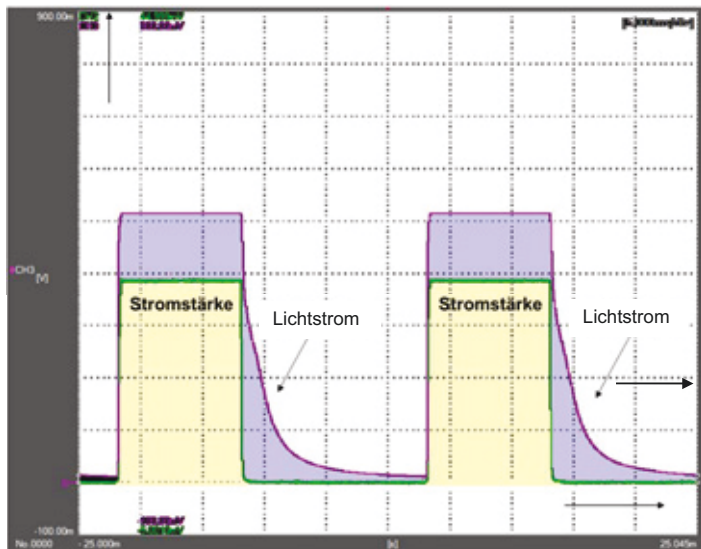


Abb. 5 Zeitlich aufgelöst: LED-Stromstärke und zugehöriger LED-Lichtstrom

Der für die verschiedenen Duty Cycles bestimmte Lichtstrom folgt nicht der theoretischen Überlegung aus dem einfachen „ON/OFF“ Verhältnis. Auch wurde beobachtet, dass die Temperatur während des LED-Betriebs (Start 25 °C) von 20 s nicht durch das Peltier-Kühlelement so kurzzeitig geregelt werden konnte (siehe Abbildung 6).

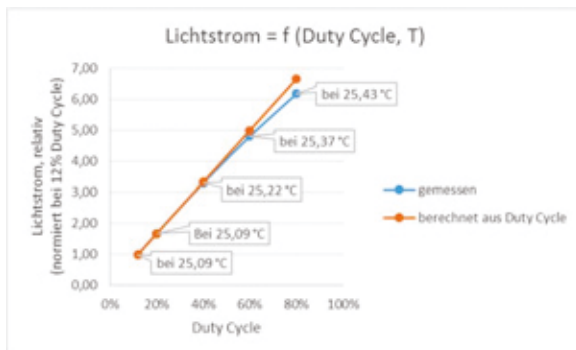


Abb. 6 Lichtstrom als Funktion des Duty Cycle – Vergleich zu theoretischen Überlegungen

4 Fazit

Die aufgebaute Messanlage erfüllt prinzipiell die Anforderungen an die für diese Untersuchungen notwendigen technischen Möglichkeiten. Durch die bislang durchgeführten, ersten orientierenden Messungen können die nächsten Arbeitsschritte und Optimierungen des experimentellen Aufbaus abgeleitet werden, so dass die Modellierung des Messprozesses und damit auch die Bestimmung der beigeordneten Messunsicherheiten durch das darauf folgende Arbeitsprogramm möglich wird.

5 Literaturverzeichnis

[1] Werner Jordan, Werner Halbritter, Walter Steudtner, Ulrich Binder und Norbert Wagner, *"Absolute luminous flux measurements of lamps using the Ulbricht sphere"*
In: CIE x036:2010, Proceedings of the CIE Expert Symposium on Spectral and Imaging Methods for Photometry and Radiometry